

**О.Г. ГРИБ**, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ"

**Р.В. ЖДАНОВ**, начальник, РЭС АК "Харьковоблэнерго",

Красноград

**Д.А. ГАПОН**, доц., НТУ "ХПИ"

**А.А. ЗУЕВ**, канд. техн. наук., доц., НТУ "ХПИ"

### **МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

В данной статье рассмотрен метод обнаружения и выделения импульсных напряжений из состава гармонического сигнала путем нахождения наилучшей аппроксимации входного сигнала с помощью метода наименьших квадратов. Позволяет эффективно выделять одиночные импульсы длительностью до 10 мс с сохранением их формы.

**Ключевые слова:** энергосистема, качество электроэнергии, импульсы напряжения.

**Постановка проблемы.** Низкое качество электрической энергии оказывает непосредственное влияние на работу оборудования потребителей. Одним из показателей качества является наличие импульсов напряжения малой длительности (до нескольких миллисекунд). На данный момент существует множество средств, позволяющих выполнять качественную и количественную оценку качества электрической энергии [1-4], однако многие из них не позволяют эффективно обнаруживать кратковременные импульсы напряжения [2].

**Целью данной статьи** является рассмотрение эффективного метода выделения одиночных импульсов из состава гармонического сигнала напряжения промышленной сети.

**Описание метода.** Метод использует аппроксимацию формы кривой напряжения функцией специального вида. Отыскание наилучшей аппроксимации выполняется с помощью метода наименьших квадратов.

Аппроксимирующая функция задана в виде:

$$g(t) = c_{1s} \sin(\psi(t)) + c_{1c} \cos(\psi(t)) + \sum_k (c_{k,s} \sin(k\psi(t)) + c_{k,c} \cos(k\psi(t))), \quad (1)$$

где  $c_{1s}$  и  $c_{1c}$  – коэффициенты синусоидальной и косинусоидальной составляющих основной гармоники;  $k = 2, 3, 4, \dots$  – номер высшей гар-

© О.Г. Гриб, Р.В. Жданов, Д.А. Гапон, А.А. Зуев, 2013

моники;  $c_{k,s}$ ,  $c_{k,c}$  – коэффициенты синусоидальной и косинусоидальной составляющих  $k$ -й гармоники;  $\psi(t)$  – фаза, определяющаяся как:

$$\psi(t) = \omega(t - t_c) \quad (2)$$

$t_c$  – время соответствующее моменту середины интервала аппроксимации; где  $\omega$  – значение частоты в момент времени  $t_c$ .

Для того чтобы импульс оказывал минимальное влияние на результат аппроксимации применяется весовая функция, показанная на рис. 1. Она представляет собой два последовательных окна Блекмана-Харриса и описывается выражением:

$$w(i) = a_0 - a_1 \cos\left(\frac{\pi(i-n)}{n}\right) + a_2 \cos\left(\frac{2\pi(i-n)}{n}\right) - a_3 \cos\left(\frac{3\pi(i-n)}{n}\right),$$

где  $a_0 = 0,35875$ ,  $a_1 = 0,48829$ ,  $a_2 = 0,14128$ ,  $a_3 = 0,01168$ .

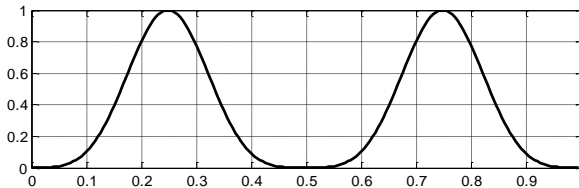


Рис. 1 – Весовая функция.

Наилучшая аппроксимация отыскивается после каждого отсчета. Оптимальная длительность времени наблюдения составляет 2-4 периода основной гармоники входного сигнала. Таким образом, по мере прохождения весовой функции, импульс неизбежно окажется в центральной его части. В этом случае аппроксимация будет выполнена без его учета. Далее выполняется оценка качества аппроксимации по величине взвешенного среднеквадратического отклонения:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n(c_{1s}^2 + c_{1c}^2)} \sum_{i=1}^n [w(i)(y_i - g(x_i))^2]}. \quad (3)$$

При этом, лучшей аппроксимации будут соответствовать меньшие значения  $\delta$ . Далее для каждой точки аппроксимации вычисляется уровень достоверности как:

$$d(i) = \delta / wd(i),$$

где  $wd(i)$  – весовая функция, показанная на рис. 2. Она отличается от функции описанной выше тем, что в диапазоне 0,25...0,75 не имеет

провала, а ее значения равны 1. Это означает, что уровень достоверности для всех центральных значений максимален.

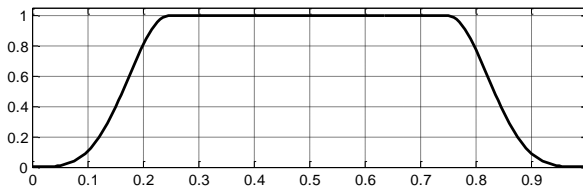


Рис. 2 – Функция достоверности.

Для выделения импульса вычисляется разница между мгновенными входными значениями и результатом аппроксимации в соответствующей точке:

$$h(i) = y_i - g(x_i). \quad (4)$$

При этом, результат для каждой точки будет получен  $n$  раз. Из этих значений выбирается максимально достоверное, то есть значение, для которого величина  $d(i)$  будет минимальным. Такой подход позволяет минимизировать влияние самого импульса на отыскание наилучшей аппроксимации.

**Результаты экспериментальных исследований.** В качестве исходной использована осциллограмма напряжения в одной из фаз линии 110 KV при нагрузке близкой к линейной. Как показано на рис. 3 исходное напряжение содержит минимальный уровень искажений и гармоник. Для проверки работоспособности метода на исходный сигнал аддитивно наложены импульсы длительностью 10 мс различной формы (рис. 3,а – прямоугольной, рис. 3,б – треугольной). Применялись методы с длительностью интервала наблюдения равной 2 и 3 периода основной гармонике (НК 2.0 и НК 3.0 соответственно). Для оценки полученного результата приведены также данные о среднеквадратическом значении на  $\frac{1}{2}$  периода (RMS 0.5). Полученные результаты позволяют говорить, о том, что рассмотренный метод позволяет с достаточной точностью определять наличие и форму импульсов в составе сигнала. Рекомендованная длительность интервала наблюдения соответствует трем периодам основной гармонике исследуемого сигнала.

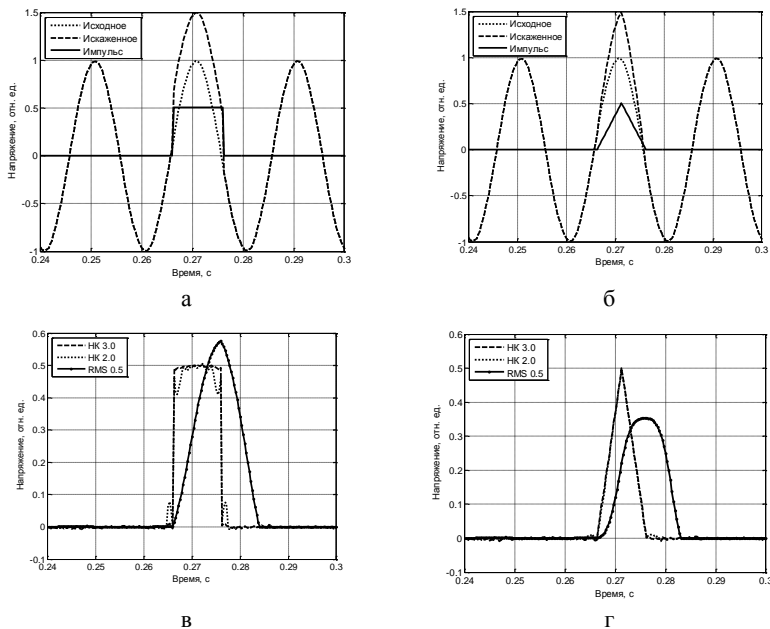


Рис. 3 – Результат выделения прямоугольного и треугольного импульсов из состава гармонического сигнала: а, в – прямоугольной; б,г – треугольной.

**Выводы.** Рассмотренный метод позволяет эффективно выделять кратковременные импульсы с сохранением их формы. Причем, наибольшая эффективность достигается при наличии одиночных импульсов с длительностью менее 10 мс.

**Список литературы:** 1. Контроль потребления электроэнергии с учетом ее качества / О.Г. Гриб, В.И. Васильченко, Г.А. Сендерович, П.Г. Щербакова и др.; под ред. О.Г. Гриба. – Харьков: ХНУРЭ, 2010. – 444 с. 2. Wang, M.; Rowe, G.I.; Manishev, A.V. "Classification of power quality events using optimal time-frequency representations, theory and application" IEEE Trans. Power Del. 2004, vol. 19, no. 3, Pp. 1496-1503. 3. Gargoom, A.M., Ertugrul, N., Soong, W.L. "A comparative study on effective signal processing tools for power quality monitoring" Power Electronics and Applications, European Conference, 2005, Pp.10-20. 4. Panigrahi, B.K.; Sinha, S.K.; Mohapatra, A; Dash, P; Mallick, M.K. "A Comparative Study of Signal Processing and Pattern Recognition Approach for Power Quality Disturbance Classification" IETE J Res, 2011, no. 57, Pp. 5-11.



**Гриб Олег Герасимович**, д.т.н., профессор. Защитил диплом инженера в Украинском заочном политехническом институте в 1973 г. Диссертацию кандидата технических наук по специальности защитил в 1979 г. в Харьковском высшем военном училище им. Н.И. Крылова, диссертацию доктора технических наук по специальности "Электротехнические системы и комплексы" защитил в 1992 г. в Московском энергетическом институте. Заведующий кафедрой автоматизации энергосистем Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". Основное направление научной деятельности – контроль и регулирование качества электрической энергии и электропотребления.



**Жданов Роман Викторович**. Защитил диплом инженера по специальности "Электротехнические системы электроснабжения" в Харьковской национальной академии городского хозяйства в 2005 г. Начальник Красноградского РЭС АК "Харьковоблэнерго". Основное направление научной деятельности – контроль показателей качества энергии в электрических сетях.



**Гапон Дмитрий Анатольевич**. Защитил диплом магистра по специальности "Системы управления и автоматики" в Национальном техническом университете "Харьковский политехнический институт" в 2001 г. Доцент кафедры автоматизации энергосистем Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". Основное направление научной деятельности – методы контроля качества электрической энергии и электропотребления.



**Зуев Андрей Александрович**. Защитил диплом магистра по специальности "Системы управления и автоматики" в Национальном техническом университете "Харьковский политехнический институт" в 2002 г. Диссертацию кандидата технических наук по специальности "Компьютерные системы и компоненты" защитил в 2009 г. в Национальном техническом университете "Харьковский политехнический институт". Доцент кафедры автоматики и управления в технических системах НТУ "ХПИ". Основное направление научной деятельности – методы компьютерного и математического моделирования и системы визуализации.

*Надійшла до редколегії 28.02.2013*

УДК 621.316

**Метод выделения импульсов напряжения при выполнении анализа качества электрической энергии / Гриб О.Г., Жданов Р.В., Гапон Д.А., Зуев А.А. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПИ", 2013. – № 15 (988). – С. 139-144. Бібліогр.: 4 назв.**

У даній статті розглянуто метод виявлення і виділення імпульсних напруг зі складу гармонійного сигналу. В основі методу лежить знаходження

найкращої апроксимації вхідного сигналу за допомогою методу найменших квадратів. Дозволяє ефективно виділяти одиночні імпульси тривалістю до 10 мс із збереженням їхньої форми.

**Ключові слова:** енергосистема, якість електроенергії, імпульси напруги.

This paper presents a method of detection and isolation of pulse voltage from the harmonic signal. The method is based on finding of the best approximation of the input signal using the least squares method. It allows the effective allocating of single pulses with duration to 10 ms and its shape maintaining.

**Keywords:** power system, power quality, voltage pulses.